



УДК 621.039

**РАССЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ
КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕПЛОВОЙ И
РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ****EXPERIMENTAL RESEARCH OF COMBINED
THERMAL AND RADIATION SHIELD
PROPERTIES**

Попов Сергей Андреевич, студент каф. «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: popovs1803@gmail.com. Тел.: +7(343) 375-97-37

Ташлыков Олег Леонидович, кан.-т. техн. наук, доцент каф. «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: otashlykov@list.ru. Тел.: +7(343)375-97-37

Sergey A. Popov, Student, Department «Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: popovs1803@gmail.com. Ph.: +7(343)375-97-37

Oleg L. Tashlykov, Cand. Sci., Associate professor, Department «Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: otashlykov@list.ru. Ph.: +7(343)375-97-37

Аннотация: Смоделирован трубопровод, покрытый слоем изоляции и радиационно-защитным экраном. Проведен расчет линейной плотности теплового потока с трубопровода, температуры на поверхности изоляции и экрана, коэффициента теплоотдачи от экрана к воздуху.

Abstract: Pipeline covered with insulation and radiation protective shielding was modeled. Linear thermal flux, insulation temperature and shielding temperature, heat transfer coefficient from shielding to air were calculated.

Ключевые слова: плотность теплового потока; изоляция; радиационно-защитный экран.

Key words: thermal flux; insulation; radiation protective shielding.

ВВЕДЕНИЕ

Тепловая изоляция (ТИ) является неотъемлемым элементом теплоэнергетического оборудования, влияющим на надежность и экономичность АЭС.

Для обеспечения нормальных условий работы персонала радиоактивное оборудование и трубопроводы АЭС окружают защитой. Для периодических осмотров и ремонтов защиту и ТИ необходимо демонтировать, а затем восстанавливать, что требует значительных трудозатрат [1].

Уменьшить дозозатраты персонала можно снижением радиационного параметра, увеличением расстояния от оборудования до работника и уменьшением времени пребывания вблизи радиоактивного оборудования [2], [3].

Одним из путей уменьшения времени пребывания в радиационных полях является применение блочной съемной тепловой изоляции (БСТИ). Так, применение БСТИ позволило снизить коллективную дозу на Калининской АЭС в период с 2008 по 2010 на 23-30 чел·мЗв [4].

В докладе приводится описание и расчетное обоснование использования комбинированной БСТИ и радиационной защиты, выполненной в виде блоков, устанавливаемых на оборудование с помощью крепежных устройств, на наружную поверхность которых установлен радиационно-защитный экран.

В качестве защитного экрана предлагается материал Абрис, представляющий собой гомогенную композицию на основе полимерного связующего и наполнителя необходимой концентрации с учетом изотопного состава радиоактивного загрязнения.

За счет того, что радиационно защитный экран обладает изолирующими свойствами, можно уменьшить толщину теплоизоляционного слоя.

ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ

В качестве модели был выбран трубопровод длиной 1 м и диаметром 200 мм, окруженный слоем изоляции определенной толщины и слоем радиационно защитного экрана толщиной 20 мм. Толщина изоляции выбиралась из условия не превышения температуры на поверхности трубопровода 45°C и условия не превышения эксплуатационной температуры для радиационно-защитного экрана 70°C [5]. Для упрощения модели материал трубопровода был исключен, так как сталь обладает высокой теплопроводностью и практически не влияет на результаты. Греющей средой выбрана вода при температуре от 100 до 225 °C со скоростью потока 2 м/с. Снаружи труба омывается воздухом при температуре 20°C в режиме свободной конвекции.

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК

Расчет производился по формулам, представленным в справочнике для соответствующего режима [6].

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot L^3}{\nu^2} = 69672917,59, \quad (1)$$

$$q_l = \frac{\pi \cdot (t_2 - t_1)}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_u} \ln \left(\frac{d + 2 \cdot \delta_u}{d} \right) + \frac{1}{2 \cdot \lambda_3} \ln \left(\frac{d + 2 \cdot \delta_u + 2 \cdot \delta_3}{d + 2 \cdot \delta_u} \right) + \frac{1}{\alpha_2 \cdot (d + 2 \cdot \delta_u + 2 \cdot \delta_3)}} = 73,64 \text{ Вт/м} \quad (4)$$

где t_1 – температура воздуха, °C

t_2 – температура воды, °C

α_1 – коэффициент теплоотдачи от воды к трубе, Вт/(м²·K)

λ_u – коэффициент теплопроводности изоляции, Вт/(м·K)

λ_3 – коэффициент теплопроводности экрана, Вт/(м·K).

$$t_{нов1} = t_1 - \frac{q_l}{\pi} \left(\frac{1}{\alpha_1 \cdot d} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_u} \ln \left(\frac{d + 2 \cdot \delta_u}{d} \right) \right) = 46,56^\circ \text{C} \quad (5)$$

$$t_{нов2} = t_1 - \frac{q_l}{\pi} \left(\frac{1}{\alpha_1 \cdot d} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_u} \ln \left(\frac{d + 2 \cdot \delta_u}{d} \right) + \frac{1}{2 \cdot \lambda_3} \ln \left(\frac{d + 2 \cdot \delta_u + 2 \cdot \delta_3}{d + 2 \cdot \delta_u} \right) \right) = 41,60^\circ \text{C} \quad (6)$$

Таблица 1.

Параметры трубопровода при расчете по формулам

Температура воды, °C	100	125	150	175	200	225
Толщина изоляции, мм	20	30	40	50	60	70
Линейная плотность теплового потока, Вт/м	73,64	75,73	78,13	80,55	83,06	85,53
Температура поверхности изоляции, °C	46,56	45,94	45,39	45,04	44,65	44,41
Температура поверхности экрана, °C	41,60	41,20	40,83	40,63	40,37	40,26
Коэффициент теплоотдачи к воздуху, Вт/(м ² ·K)	3,876	3,790	3,731	3,655	3,605	3,537

где g – ускорение свободного падения, м/с²;

β – коэффициент теплового расширения воздуха, 1/°C;

Δt – разность температур сред, °C;

L – характерный размер, м (для горизонтальных труб d);

ν – кинематическая вязкость воздуха, м²/с.

$$Nu = 0,5 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,25} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_c} \right)^{0,25} = 41,90, \quad (2)$$

где Pr – число Прандтля для воздуха

Pr_c – число Прандтля для воздуха при температуре стенки.

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d + 2 \cdot \delta_u + 2 \cdot \delta_3} = 3,876 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K)}, \quad (3)$$

где λ – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м·K)

d – наружный диаметр трубы, м

δ_u – толщина изоляции, м

δ_3 – толщина экрана, м.

Линейная плотность теплового потока рассчитывается по формуле

Таблица 2.

Параметры трубопровода при расчете в программном пакете SolidWorks

Температура воды, °C	100	125	150	175	200	225
Толщина изоляции, мм	20	30	40	50	60	70
Линейная плотность теплового потока, Вт/м	66,55	71,67	74,36	76,78	81,06	82,93
Температура поверхности изоляции, °C	49,04	44,59	48,61	48,59	47,90	47,56
Температура поверхности экрана, °C	44,62	49,21	44,12	44,18	43,41	43,31
Коэффициент теплоотдачи к воздуху, Вт/(м ² ·K)	3,062	3,112	3,118	3,001	3,096	3,009

В ходе исследования было проведено теплогидравлическое моделирование в программном пакете SolidWorks процесса теплообмена трубы с установленной комбинированной теплоизоляцией и радиационной защитой с внешней средой.

Данные, полученные при расчете по формулам и в программном пакете SolidWorks, представлены в таблицах 1 и 2 соответственно.

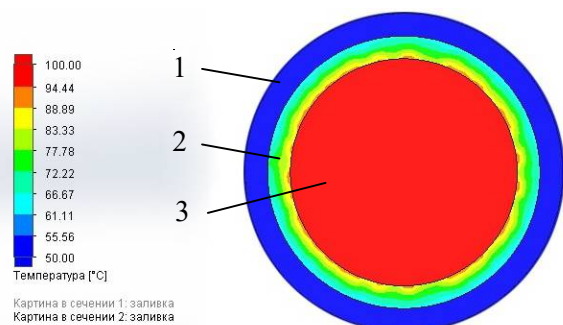


Рис. 1. Распределение температуры в теплоизоляции: 1 – радиационно-защитный экран, 2 – теплоизоляция, 3 – греющая среда.

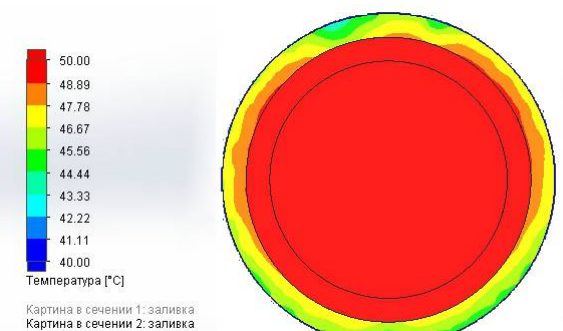


Рис. 2. Распределение температуры в радиационно-защитном экране.

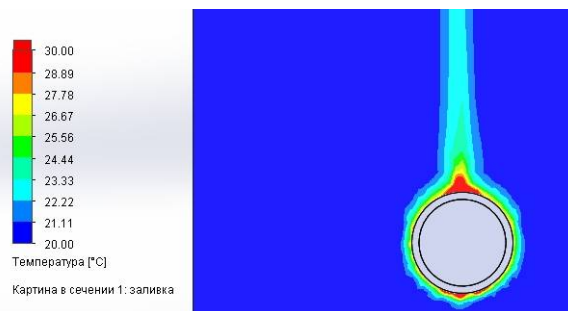


Рис. 3. Температура воздуха вокруг трубы.

Как показывают проведенные расчетные оценки, использование комбинированной БСТИ и радиационной защиты вместо обычной теплоизоляции позволяет сократить коллективную дозу на 27-38% при монтаже и на 31-63% при демонтаже теплоизоляции [6].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ташлыков О.Л. Ремонт оборудования атомных станций. Екатеринбург. Издательство УМЦ УПИ. 2003.
2. Ташлыков О.Л. Методы оценки и снижения дозовых нагрузок при ремонте АЭС. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009.
3. Наумов А.А., Ташлыков О.Л. Минимизация дозовых затрат при ремонтном обслуживании систем и оборудования АЭС // Известия вузов. Ядерная энергетика. 2010. №1. С. 80-88.
4. Таширева И.А., Ташлыков О.Л. Использование быстросъемной тепловой изоляции на АЭС // Труды второй научно-технической конференции молодых ученых Уральского энергетического института. Екатеринбург: ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», 2017. с. 365-368.
5. СНиП 41-03-2003. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов.
6. Уонг Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров: Пер. с англ. / Справочник. – М.: Атомиздат, 1979. – 216 с.